Biodiversidad, ecosistemas de humedal y riesgo de inundación: Implicaciones de la expansión hidroeléctrica en la cuenca del río Magdalena

Introducción

La Depresión Momposina en Colombia incluye uno de los sistemas de humedal más grandes del mundo. En esta región, las grandes inundaciones que ocurren anualmente en las planicies y sus humedales, regulan los ciclos de agua, nutrientes y sedimentos. Éstos, a su vez, sustentan procesos ecológicos y servicios ecosistémicos esenciales para la seguridad alimentaria de las comunidades, especialmente para los pescadores. Por otro lado, para las comunidades, que usualmente no están preparadas para eventos extremos, las inundaciones constituyen una amenaza.

La cuenca del río Magdalena tiene un gran potencial hidroeléctrico, y hay interés en aprovecharlo al máximo. Ya hay un gran número de centrales hidroeléctricas en etapas de planificación avanzada, en la cabecera de dos de los cuatro grandes ríos que convergen en la Depresión Momposina: el Cauca y el Magdalena. Se espera que estas presas aumenten a más del doble la producción energética nacional, y las consecuencias para los humedales y los habitantes que dependen de ellos son inciertas.

Con el propósito de asegurar un desarrollo hidroeléctrico sostenible que no afecte a los ecosistemas clave ni a los servicios ambientales que ellos proveen, *The Nature Conservancy* (TNC) promueve un enfoque integrado de gestión y planificación de cuencas denominado "hidroelectricidad por diseño". Como parte de este enfoque, TNC está utilizando el Sistema de Evaluación y Planificación del Agua (WEAP) en colaboración con SEI para desarrollar un modelo hidrológico de la cuenca.

Esta ficha presenta los primeros resultados de la modelación, aplicando nuevas funciones en WEAP, desarrolladas en una colaboración entre SEI y TNC, para capturar los procesos de inundación a gran escala en las planicies inundables y en los humedales. Presenta también una nueva forma de evaluar cómo los cambios en la gestión de los recursos hídricos y en los procesos de desarrollo podrían alterar estas dinámicas, considerando los embalses actuales y futuras centrales hidroeléctricas. Otra función que fue agregada a WEAP es la integración de los Indicadores de Alteración Hidrológica (IAH) de TNC, una herramienta que se utiliza para medir el impacto de los cambios en los ecosistemas y los cambios en el flujo del agua debido a las actividades humanas.

Descripción del sistema

El río Magdalena es la vía fluvial más importante de Colombia y el quinto río más largo de América Latina. Su cauce principal alcanza en promedio 1.500 kilómetros de largo; inicia entre los glaciares y los bosques de los Andes en el sur de Colombia y sigue en dirección norte hacia su desembocadura en el Caribe, en Barranquilla, la cuarta ciudad más grande de Colombia. El Magdalena y sus tributarios también transportan las mayores cargas de sedimentos entre los ríos de Suramérica, con una producción media estimada de 690 ton/km^2/año.

Una parte importante de estos sedimentos se deposita en la Depresión Momposina, una cuenca tectónica de aproximadamente 32,198 km^2 – el 11,8% del área total de la cuenca del Magdalena. En esta región, los caudales altos se presentan dos veces al año, en abril–mayo y en noviembre–diciembre, debido a la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI). Las inundaciones del río asociadas a los humedales en la Depresión Momposina son un evento anual típico, que ocurre durante los períodos de caudales altos.

La gran carga de sedimentos que se trasporta por los cuatro ríos principales – el Magdalena, el Cauca, el Cesar y el San Jorge

© Mauricio Montoya / Flickr

Pescadores en Pijino, en las tierras bajas de la cuenca del río Magdalena.

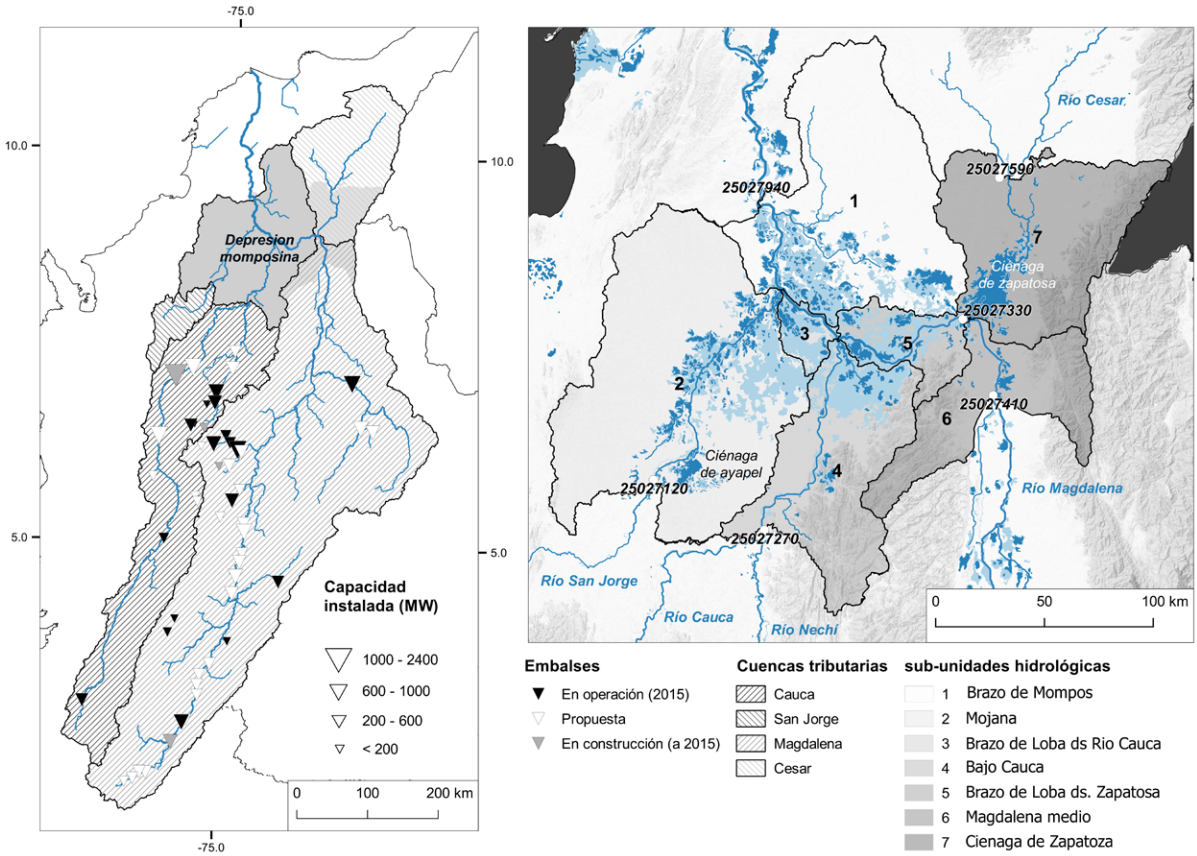

Figura 1: Mapa de la cuenca del río Magdalena, mostrando las centrales hidroeléctricas aguas arriba (existentes y planeadas), la ubicación del sistema de planicies inundables, y las estaciones de monitoreo hidrológico que se mencionan en el texto.

(Figura 1), ha creado en estos humedales dinámicas hidrológicas y morfológicas complejas, que resultan en altos niveles de complejidad ecológica y de diversidad de especies. Se han identificado más de 200 especies de peces nativos (aproximadamente la mitad son endémicos), así como una gran diversidad de mamíferos, aves y anfibios. Los humedales y las lagunas son una importante escala para las aves migratorias a lo largo del hemisferio occidental. Además las comunidades rurales se sirven de estos hábitats para la pesca y otros recursos. Estos ecosistemas, a su vez, dependen en gran medida de los suministros estacionales de agua, nutrientes y sedimentos que transportan los ríos.

Desarrollo de energía hidroeléctrica en la cuenca del Magdalena

La cuenca del Magdalena suministra el 70% de la energía hidroeléctrica de Colombia, y la mayoría de la expansión de la producción de energía que se planea en el país sería en esta cuenca (Figura 1). Ya existen 26 represas de gran y mediana escala, con una capacidad instalada de 6,36 GW y producción media anual de unos 33.400 GWh. Otras dos grandes represas están bajo construcción, con una capacidad instalada total de 2,80 GW. Para las próximas décadas se planean 30 grandes proyectos hidroeléctricos con el potencial de añadir 7,64 GW de capacidad instalada.

Las represas alteran, inevitablemente, el régimen de caudales y la conectividad de los ríos de manera longitudinal (aguas arriba y aguas abajo) y lateral (entre el río y los ecosistemas de humedal), poniendo en riesgo su productividad. Esta es una importante consideración para la región, la cual ya tiene alta vulnerabilidad frente a las inundaciones extremas, ya que en la zona de humedales de la Depresión Momposina convergen los efectos de las alteraciones generadas en las partes altas y medias de la cuenca. En los años 2010 y 2011, una serie de inundaciones causadas por un período *La Niña* excepcionalmente lluvioso resultó en numerosas muertes y extensivos daños materiales.

Desde que ocurrieron estas inundaciones, se han realizado varios estudios para identificar medidas estructurales y no-estructurales para manejar y mitigar los riesgos de inundación en esta área. Sin embargo, los estudios no han considerado las implicaciones del cambio climático ni de los cambios en la gestión de los recursos hídricos ubicados agua arriba, en la dinámica de inundación de los ecosistemas de humedal en la cuenca Magdalena. Es más: el desarrollo de centrales hidroeléctricas se ha visto como una manera de controlar las inundaciones. Los resultados de nuestro estudio indican que no lo es.

Modelo WEAP para planicies inundables

Utilizando la versión mejorada de WEAP, se desarrolló un modelo conceptual que incluye un componente de humedales y almacenamiento en las planicies inundables, y también cubre las interacciones laterales entre el río y sus zonas inundadas vecinas. (El desarrollo del modelo también incluirá la evaluación de la pérdida en la conectividad longitudinal, pero no en este primer estudio). Se avanzaron las capacidades de WEAP en dos aspectos clave para este proyecto: se consideró la superficie de almacenamiento de agua en el modelo de humedad del suelo, y se mejoró la representación de las conexiones entre la superficie de almacenamiento y la red fluvial (Figura 2). Esto permite capturar las complejas interacciones entre los humedales, los sistemas fluviales y las planicies

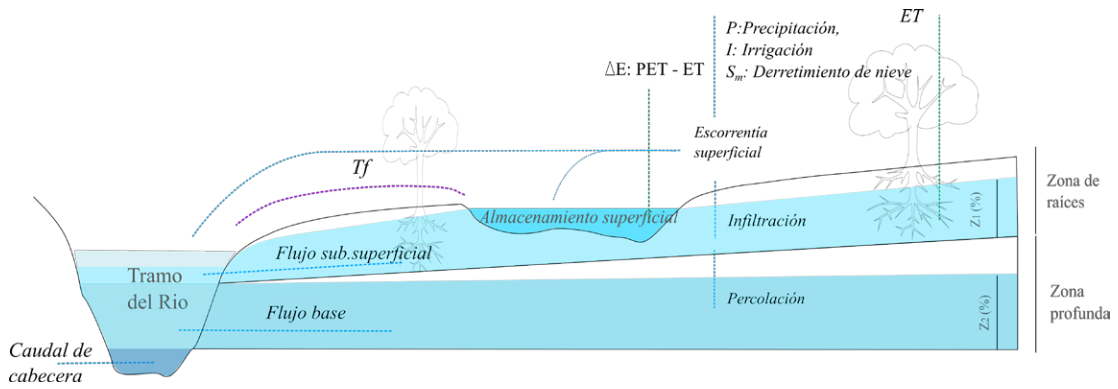

Figura 2: Esquema del modelo de dos niveles de humedad del suelo, incluyendo un componente de almacenamiento de agua en la superficie, que muestra las distintas entradas y salidas hidrológicas.

inundables. Por ejemplo, se puede representar un caso en el que una planicie inundable sea alimentada por el desborde de varios tramos del río y/o donde el flujo de retorno de la planicie inundable sea entregado a varios tramos del río o transferido a una o varias cuencas vecinas. Los detalles matemáticos de las ecuaciones del balance hídrico serán publicados en una revista científica.

La nueva capacidad para modelar las planicies inundables en WEAP permite hacer una evaluación integrada de las prácticas de gestión de los recursos hídricos, incluyendo la operación de embalses, los planes de desarrollo hidroeléctrico, y la evaluación de los impactos del cambio climático. El modelo se enfoca en la Depresión Momposina y las áreas bajas adyacentes. La región cuenta con estaciones de monitoreo hidrológico, las cuales a pesar de las limitaciones de información en términos de falta de registros, permitieron inferir los patrones del ciclo hidrológico de la cuenca y hacer una validación básica de los balances hídricos simulados.

El modelo de planicies inundables fue evaluado en diferentes condiciones, con base en las diferentes definiciones de unidades hidrológicas naturales dentro del sistema Mompós. El objetivo fue evaluar la importancia de las condiciones del contorno de las planicies inundables y los humedales. Para calibrar y validar el modelo, se compararon las corridas simuladas para cada unidad hidrológica con las observadas en un período de 20 años (1985–2005). Los resultados estadísticos están en el rango aceptable para los períodos de calibración y validación evaluados.

Modelación del efecto de la hidroenergía en las planicies inundables

El caso base en el modelo considera 26 embalses y dos en construcción. El Grado de Regulación (GDR) es un indicador para estimar el impacto acumulado de la operación de embalses en el régimen de caudales de los ríos localizados aguas abajo. Con base en la capacidad de almacenamiento de los embalses hidroeléctricos en 2010, el GDR estimado corresponde a un 5% del volumen de escorrentía media anual aguas arriba en la depresión Momposina cerca de la ciénaga de Zapatosa en el río Magdalena.

Los niveles actuales de GDR indican que los caudales afluentes a la Depresión Momposina están cerca de las condiciones naturales (Figura 3), ya que la mayoría de los embalses existentes se localizan en las zonas altas de los ríos Magdalena y Cauca y sus tributarios (Figura 1), y una cantidad sustancial del caudal se origina a partir los tramos medios y bajos de sus afluentes. La implementación de los 30 proyectos planeados, que resultarían en un total de 58 embalses, podrían aumentar el GDR en la cuenca del Magdalena en un 30% (Figura 3).

Los resultados de la simulación muestran que con el aumento de centrales hidroeléctricas, el hidrograma será más constante aguas arriba en los principales afluentes de la Depresión Momposina. Con base en los modelos simulados, los cambios en los diferentes componentes del régimen de inundación pueden ser significativos. Por ejemplo:

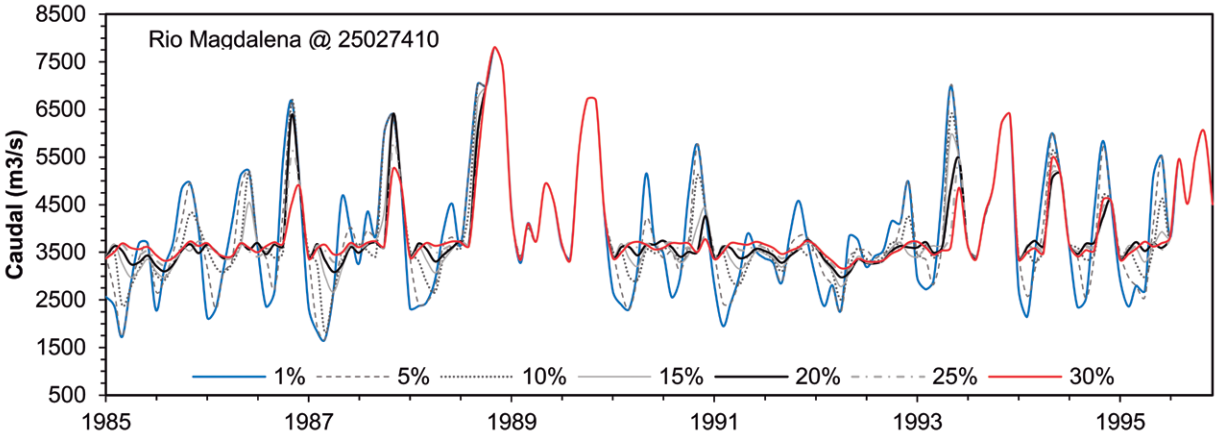

Figura 3: Simulación de los impactos sobre las dinámicas de los humedales de la regulación de flujos aguas arriba entre el 1 y el 30% (expresados como volumen total del embalse / flujos anuales promedio). Simulación de los hidrogramas mensuales para el río Magdalena aguas arriba de la ciénaga de Zapatosa y la Depresión Momposina reflejando el impacto de las operaciones hidroeléctricas. Capacidad de regulación equivalente a GDR del 1, 5, 10, 15, 20 y 30%.

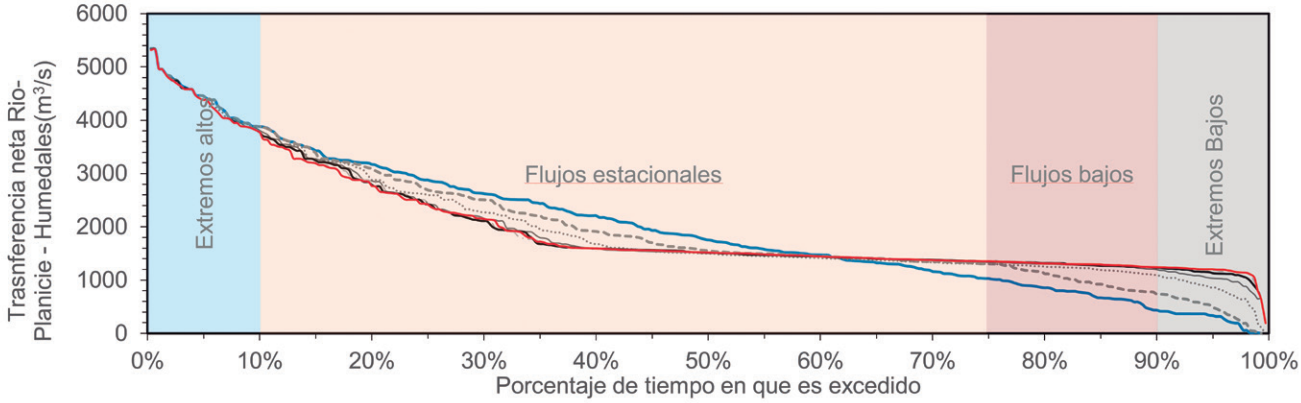

Figura 4: Cambios en el hidroperíodo (tiempo cuando el suelo está saturado). Se muestran los flujos altos extremos, los flujos estacionales, los flujos bajos, y el rango de bajos extremos (colores de fondo) de los distintos componentes de los flujos. Cada uno de estos componentes tiene relaciones específicas con las dinámicas hidráulicas y geomorfológicas que definen los hábitats disponibles, y por lo tanto, la biodiversidad y las relaciones ecológicas.

Flujos altos: Con un aumento en el nivel de GDR equivalente al 30% del caudal anual, se puede observar que las operaciones de los embalses reducen sustancialmente la magnitud de los flujos estacionales, mientras que prácticamente eliminan los flujos bajos y los extremadamente bajos durante los meses secos (Figura 4). Sin embargo, se espera que el desarrollo de nuevos embalses no tenga ningún impacto en los flujos extremadamente altos o en las inundaciones, que seguirán ocurriendo (lado izquierdo de la Figura 4). Es decir, los embalses no protegerán a las comunidades de las inundaciones asociadas con eventos periódicos extremos de incremento de caudales (que se producen cada 10 años o más), tales como los ocurridos durante el fenómeno de *La Niña* en 2010–2011. Esto se debe a que durante las condiciones de flujo máximo, los embalses localizados aguas arriba de la cuenca tendrán que liberar agua para la seguridad de la represa. Esto significa que el aumento en la regulación de los flujos podría aumentar el riesgo para las comunidades aguas abajo, que probablemente estarán muy expuestas a las inundaciones.

Flujos estacionales: En las planicies inundables y en los lagos, las inundaciones estacionales son críticas para el depósito de agua, nutrientes y sedimentos, así como para la reproducción de especies de peces y aves. La alteración en los patrones de intercambio entre el río y los humedales durante los flujos estacionales (sección central de la Figura 4) podrían tener efectos muy graves para el funcionamiento de estos ecosistemas.

Flujos bajos: Debido a los altos índices GDR, se espera que los flujos bajos sean mayores y mucho menos variables (parte derecha de la Figura 4). Aún pequeños aumentos en la regulación podrían resultar en drásticas alteraciones en los flujos bajos, los cuales son importantes en muchos aspectos de la biodiversidad y de los eventos ecológicos, tales como la reproducción de reptiles, la propagación de comunidades de vegetación de ribera, y el almacenamiento de nutrientes y de materia orgánica.

La disminución en el intercambio de agua durante los flujos estacionales entre el río, las planicies inundables adyacentes y los humedales, se ilustra en la Figura 5.

Adicionalmente, el modelo permite evaluar los impactos en la pérdida de conectividad debido a las estructuras de control de inundaciones como los diques y las carreteras. La Figura 6 presenta el flujo máximo aguas abajo en la Depresión Momposina, como resultado de la pérdida de conectividad, respecto a las condiciones actuales. Estos resultados indican que al reducir la conectividad del sistema se podría producir un aumento hasta de ~ 900 m³/s (+ 7,2 %) en la magnitud de los flujos máximos en condiciones extremadamente húmedas, como *La Niña* en

© Mauricio Montoya / Flickr

Los humedales de la Depresión Momposina albergan a una gran variedad de especies, incluyendo aves que usan hábitat de zonas de inundación, como las garzas.

© Pablo García / Flickr

Una vista de la ciudad costera de Barranquilla, donde el río Magdalena desemboca en el mar.

2010–2011 (históricamente, estos eventos ocurren, en promedio, cada 30 años). Esto equivale a 9,4 billones de m³ de agua adicional en la zonas de la cuenca que se localizan aguas abajo de la Depresión Momposina, incluyendo las zonas industriales y urbanas de Barranquilla.

Conclusiones y próximos pasos

Este trabajo aborda la necesidad de encontrar alternativas para incrementar la oferta de energía a través del desarrollo hidroeléctrico de una manera que beneficie a las comunidades y a la naturaleza. El modelo WEAP del río Magdalena y la Depresión Momposina es una herramienta valiosa que permite identificar soluciones a la escala del sistema de la cuenca grande del río Magdalena. Las nuevas capacidades de WEAP desarrolladas a través de esta iniciativa brindan la posibilidad de aplicar un nuevo grupo de modelos de estudio que pueden simular, a gran escala, las dinámicas en las planicies inundables.

Este estudio muestra que las dinámicas de almacenamiento de agua en las planicies inundables, a diferentes escalas (mensual y por décadas), son determinadas por las variaciones del clima a nivel de cuenca y pueden ser representadas dentro del modelo. Esto significa que WEAP es la primera plataforma capaz de modelar con éxito el balance hídrico de las planicies inundables a media y gran escala (~ 10.000 km²), y de conectar la simulación de estas dinámicas con simulaciones de las prácticas de gestión del agua. Esta herramienta será de gran utilidad para investigadores y planificadores que afronten retos similares alrededor del mundo.

En términos de implicaciones para la gestión, el modelo estima que la infraestructura hidroeléctrica propuesta tiene una capacidad total de almacenamiento similar a la magnitud de almacenamiento de agua de las planicies inundables de la Depresión Momposina durante los períodos secos (~ 15 billones de m³). Los impactos acumulativos de las operaciones de las centrales hidroeléctricas podrían resultar en alteraciones de los componentes clave del régimen de caudales de los ríos Magdalena y Cauca, que son clave para las dinámica natural de los humedales de las zonas bajas y sus ecosistemas. Esto resalta la necesidad de establecer reglas claras en la asignación de agua a escala de cuenca, para preservar la dinámica de los ecosistemas en las planicies inundables.

Con el cambio climático, la frecuencia e intensidad de los episodios de *La Niña* son cada vez más inciertos, lo cual afecta de manera considerable los flujos de agua. En este contexto, se deben evaluar cuidadosamente los posibles impactos negativos del desarrollo de infraestructura hidroeléctrica, incluyendo su efecto sobre la vulnerabilidad de las comunidades a eventos extremos de

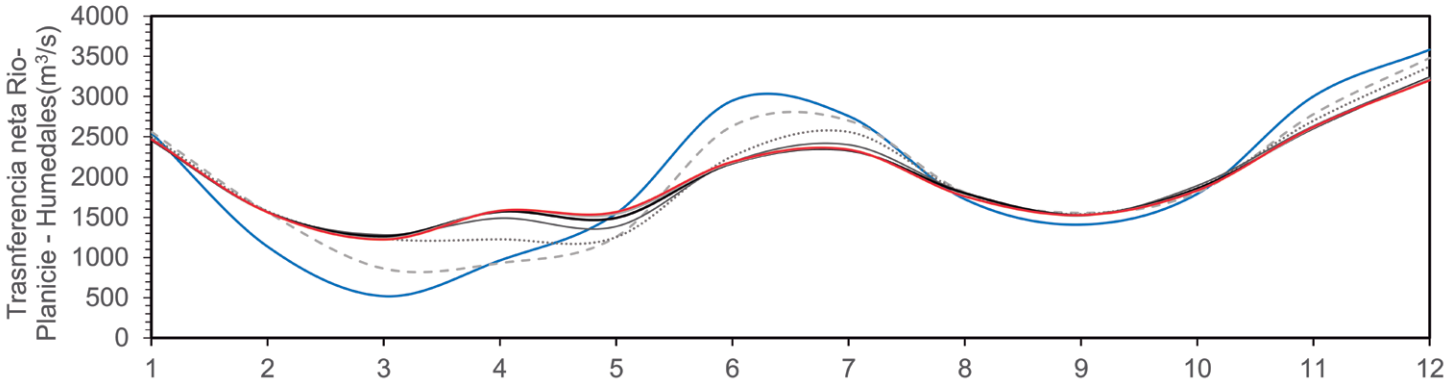

Figura 5: Cambios en los patrones estacionales promedio de intercambio de agua entre los ríos y las planicies inundables.

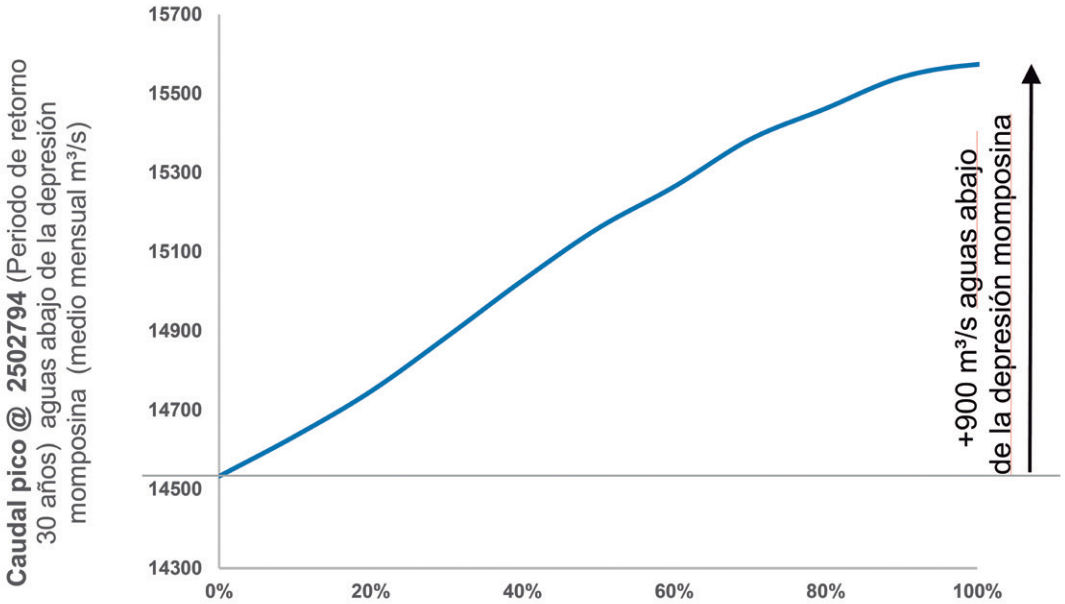

Figura 6: Pérdida de conectividad entre los ríos y los humedales, expresada a través de la magnitud de flujos pico extremos aguas abajo de la Depresión Momposina.

inundación. En esta región existe un gran potencial para crear condiciones inapropiadas, ya que cuando se reducen las inundaciones de pequeña y mediana magnitud, se puede incrementar la exposición de las comunidades a las inundaciones mayores, debido a la aparente reducción de la frecuencia de los eventos de inundación.

El desarrollo sostenible en Colombia y en otros países requiere una mejor comprensión de las relaciones entre el cambio climático, los eventos extremos, la operación de los sistemas hídricos, y las dinámicas de las planicies inundables. El enfoque que aquí se presenta puede ser replicado en otras regiones usando las nuevas capacidades de WEAP. Estos modelos aportan conocimientos importantes para guiar el desarrollo de proyectos de infraestructura y de conservación de los ecosistemas.

© Jorge Gaviria / Flickr

El humedal Ayapel en la Depresión Momposina alberga a una gran variedad de flora y fauna, y sustenta la pesca de subsistencia.

Publicado por:
Stockholm Environment Institute
U.S. Center – Davis Office
400 F Street
Davis, CA 95616, USA
Tel: +1 530 753 303

The Nature Conservancy – Colombia
Calle 67 No. 7 - 94 Piso 3
Bogotá, Colombia
www.mundotnc.org

Autores:
Hector Angarita, hector.angarita@tnc.org
Juliana Delgado, jdelgado@tnc.org
Bart Wickel,
bart.wickel@sei-international.org
Marisa Escobar,
marisa.escobar@sei-international.org

sei-international.org
2016
Twitter: @SEIresearch, @SEIclimate